

мотороремонтный завод» введен в эксплуатацию участок упрочнения, укомплектованный разработанной технологической оснасткой и внедрена технология пневмодинамического упрочнения шеек коленчатых валов ДВС Д-240 и Д-260.

За время исследований разработка была представлена на 3-х международных научно-технических конференциях, участвовала в 7-и выставках и конкурсах. Две научные работы по данной тематике, подготовленные студентами УО «ПГУ», по итогам Республиканского конкурса студенческих НИР удостоены I-й категории. На Петербургской технической ярмарке в конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка» вручен диплом I-й степени и золотая медаль в номинации «Лучший инновационный проект в области передовых технологий машиностроение и металлургия». За данную разработку на ярмарке инновационных идей 26 мая 2010 г. в Минске авторы разработки и УО «Полоцкий государственный университет» награждены дипломом.

Дальнейшие перспективы развития данной разработки видятся в совершенствовании конструкторско-технологической документации и созданного оборудования и расширении номенклатуры упрочняемых валов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завистовский, С. Э. Исследование усталостной прочности коленчатых валов, упрочненных методом ППД / С. Э. Завистовский и [др.] // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. трудов VII Междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 29 – 30 апреля 2009 г. В 2 ч. / Полоцк. Гос. Ун-т; под. ред. П. А. Витязя. – Новополоцк, 2009.

УДК 621.021

ТЕПЛООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТА

И. К. Карась

*Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством, Солигорск*

Рассмотрен процесс теплообразования при шлифовании зубьев методом обката. Установлен закон распределения температуры на поверхности обрабатываемых зубьев, определены максимальная контактная температура в зоне резания и глубина распространения структурных превращений.

Одним из основных недостатков процесса зубошлифования является высокая вероятность образования прижогов и других температурных дефектов, снижающих эксплуатационные свойства обработанной детали [1, 2].

Существует множество технологических приемов, исключаящих образование температурных дефектов. Однако на практике ограничиваются в основном снижением режимов резания, что ведет к уменьшению производительности обработки.

Существенным недостатком процесса зубошлифования является возникновение значительных остаточных напряжений в поверхностных слоях глубиной до нескольких десятых миллиметра. Как показывает опыт эксплуатации, остаточные напряжения в поверхностном слое могут повлиять на прочность всей детали, особенно при действии переменных напряжений.

Два основных фактора вызывают возникновение остаточных напряжений – пластическая деформация при силовом воздействии и нагревание поверхностных слоев [1].

В процессе шлифования решающее влияние на образование остаточных напряжений оказывает тепловой фактор [2]. В поверхностном слое в процессе шлифования возникают сжимающие температурные напряжения. Указанные напряжения превосходят предел текучести материала и вызывают пластическую деформацию сжатия. После окончания процесса шлифования и установления нормальной температуры эта деформация сохраняется, что приводит к растяжению поверхностного слоя со стороны внутренних слоев, то есть к образованию в нем растягивающих остаточных напряжений.

Следует отметить, что для ряда марок сталей, особенно высоколегированных, при охлаждении образуется поверхностный мартенситный слой (белый слой толщиной 0,01 – 0,3 мм). Мартенситное превращение происходит при увеличении объема, что может компенсировать уменьшение объема при пластической деформации сжатия [3]. Указанное обстоятельство может привести к образованию остаточных напряжений сжатия. Однако в практических случаях влияние температурных деформации сказывается больше и после шлифования в поверхностном слое наблюдаются растягивающие остаточные напряжения. Силовая пластическая деформация, связанная с усилием резания при шлифовании, имеет второстепенное значение [2].

По экспериментальным данным после шлифования в поверхностных слоях возникают растягивающие остаточные напряжения 400 – 800 Н/мм² на глубине 20 – 50 мкм [2].

При зубошлифовании крупномодульных зубчатых колес методом обката дисковым кругом с конической поверхностью можно принять, что распределение удельных сил и интенсивности теплообразования на площадке контакта описывается экспоненциальным законом (рис. 1) и выражается в формуле:

$$q(x) = q_0 \cdot e^{-mx^2},$$

где $0 \leq x \leq B$ – абсцисса рассматриваемой точки, мм; q_0 – интенсивность теплообразования для периферийных участков круга, кал/см²·с;

$m = 0,01 \dots 0,03$ – темп снижения интенсивности теплообразования, зависящий от свойств круга и материала обрабатываемой детали, $1/\text{мм}^2$.

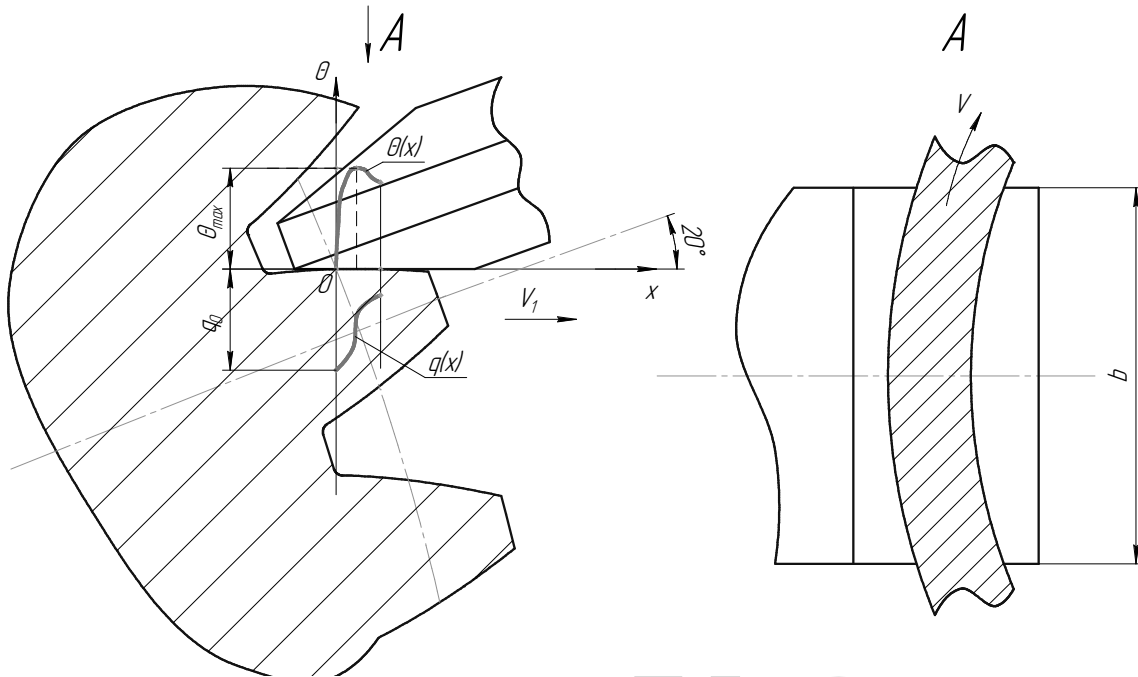


Рис. 1. Схема процесса зубошлифования с иллюстрацией законов распределения интенсивности тепловых потоков $q(x)$ и температур $\theta(x)$

Тогда закон распределения температур на поверхности детали в подвижной системе координат, связанной с кругом, описывается зависимостью

$$\theta(x) = 365(1 - b^*) \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \frac{P_z v}{b \sqrt{v_1 B}} F(\psi, \eta),$$

где b^* – коэффициент, характеризующий относительное распределение теплоты шлифования между кругом и деталью; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, $\text{кал}/\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{град}$; ω – коэффициент температуропроводности, $\text{см}^2/\text{с}$; P_z – тангенциальная сила при шлифовании, кгс ; v – скорость круга, $\text{м}/\text{с}$; b – ширина площадки контакта, мм ; $F(\psi, \eta)$ – безразмерная функция распределения, зависящая от безразмерных критериев $\psi = x/B$; $\eta = mB^2$; v_1 – скорость детали, $\text{м}/\text{мин}$.

На рисунке 2 представлен график функции $F(\psi, \eta)$ [3]. Как видно из графика функции $F(\psi, \eta)$ температура на площадке контакта круга с деталью распределена неравномерно. Чем интенсивнее темп снижения теплообразования от периферии круга к центру и чем шире площадь контакта инструмента с деталью B , тем ближе область с максимумом температуры к наружной поверхности круга, т.е. $F_{\max}(\psi, \eta) = 1,43 \eta^{0,05}$. Используя это значение можно определить максимальную температуру на поверхности контакта круга с деталью. Так как в процессе шлифовки зубьев используется принуди-

тельная подача масла под давлением в зону шлифования, то полученное значение максимальной температуры на поверхности контакта круга с деталью необходимо умножить на коэффициент $K \approx 0,71$. Закон распределения температур на поверхности детали в подвижной системе координат, связанной с кругом, примет следующий вид:

$$\theta(x) = 520(1 - b^*) \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \frac{m^{0,05} P_2 v}{b \sqrt{v_1} B^{0,4}} \cdot K.$$

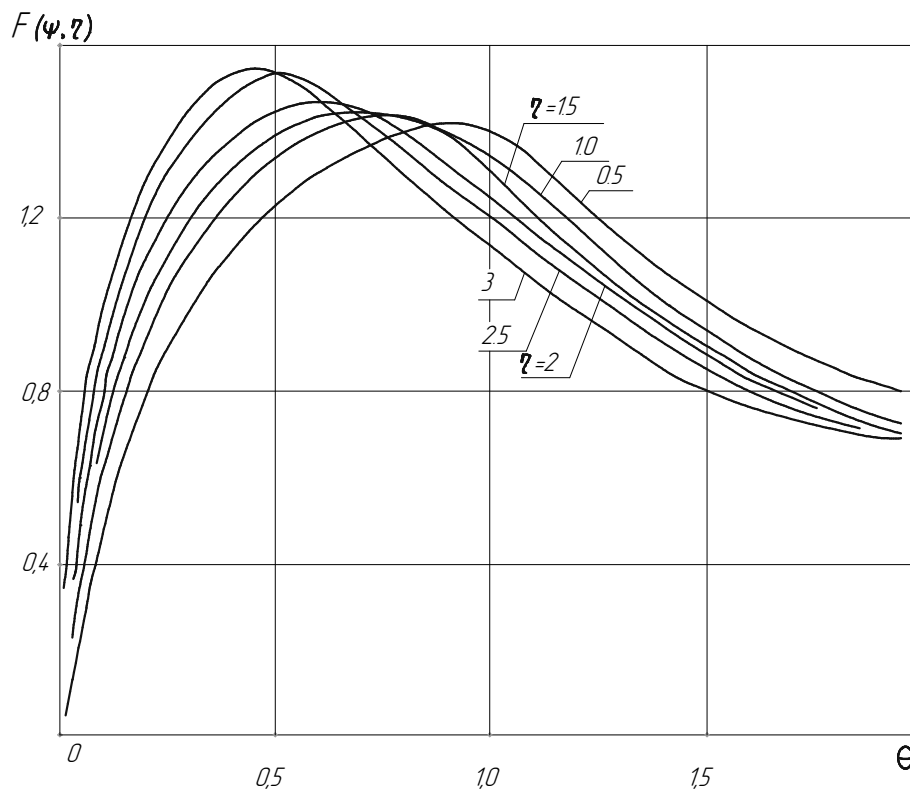


Рис. 2. График функции $F(\psi, \eta)$

Таким образом, зная максимальную контактную температуру и используя выражение Н.А. Подосеновой для определения глубины распространения структурных превращений в поверхностном слое шлифованной детали, основанное на уравнении проникновения тепловой волны, можно определить глубину проникновения критической температуры, вызывающей возникновения прижогов

$$h = (\omega \tau \cdot 10^6)^{0,5} \cdot \ln\left(\frac{\theta_k}{\theta_{omn}}\right),$$

где $\theta_{отп} = 500^\circ$ – минимальная температура отпуска, начиная с которой возникают фазовые превращения; $\tau = 16,7 L_d V_1^{-1}$ – время контакта каждой точки поверхности детали с кругом (L_d – длина дуги).

Использование полученных результатов позволяет повысить производительности при зубошлифовании путем расчета оптимальных режимов резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: учеб. пособие / Под общ. ред. М.М Канне, В.Е. Старжинского. – СПб. : Профессия, 2007. – 832 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под общ. ред. А.Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с.
3. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М. : Машгиз, 1963. – 232 с.

УДК 620.178.3

КОНТАКТНАЯ УСТАЛОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков, В. М. Кенько, А. И. Камко
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Результаты исследования контактной усталости стали Р6М5 показали, что деформация поверхностного слоя включает две стадии. На первой стадии протекает наклеп материала, и на второй происходит формирование поверхностных дефектов на глубине упрочненного слоя.

Контактная усталость является достаточно распространенной причиной отказа большого количества деталей машин [1]. Она развивается при воздействии пульсирующей нагрузки на поверхность детали. На начальном этапе эксплуатации повреждения в виде питтингов, как правило, не затрагивают глубинные слои материала и накапливаются в поверхностном слое детали. Изделиями, отказ которых во многом предопределен контактной выносливостью материала, являются подшипники качения, железнодорожные колеса и рельсы, зубчатые колеса, плунжерные пары, штамповая оснастка и др. Для них важной характеристикой является период эксплуатации, в течение которого сохраняются заданные геометрические параметры прецизионных рабочих поверхностей.

Как известно, механизм зарождения питтинга связан с упругим вдавливанием поверхностного слоя в области локализации контактной пульсирующей нагрузки и выпучиванием либо растяжением материала в непосредственной окрестности зоны контакта [2]. При этом, величина локальной деформации в окрестности зоны контакта обусловлена амплитудой